

# ARTÍCULO 9

Recibido: 18/4/2022

Aprobado: 9/6/2022

# Metodología para la detección y eliminación de genoma “Sars-Cov-2” “Covid-19” en aguas residuales de la ciudad de Tarija.

*Methodology for detection and elimination of “Sars-Cov-2” “Covid-19” genome in wastewater in Tarija city.*

Julio César Mamani Alemán <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero de Recursos Hídricos, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Master in hydrology and management of water resources - University of Alcalá and King Juan Carlos University

<sup>1</sup> **Correspondencia del autor(es):** julio-cesar-ma@hotmail.com <sup>1</sup>, julio.mamani@edu.uah.es <sup>1</sup>

## Resumen

El presente trabajo propone, metodología para la detección y eliminación del genoma SARS-CoV2 en las aguas residuales de la ciudad de Tarija, contemplando que estas aguas mencionadas constituyen una vía propicia para la transmisión de muchas patologías, incluidas las enfermedades virales.

El objeto principal del estudio es indagar sobre la detección del genoma SARS-CoV2 en las aguas residuales de la ciudad de Tarija, su prevalencia, las evidencias de transmisión y su potencial vigilancia epidemiológica en diferentes escenarios.

Este documento contempla una compilación bibliográfica-documental de artículos y aportes de fuentes de información de la CSIC (Consejo superior de investigaciones científicas de España), como también aportes del Iagua e Imdea Agua, ambas instituciones tienen intervenciones y participaciones de las Universidades de Alcalá y Rey Juan Carlos, como también estudios desarrollados por investigadores de la Universidad Ignacio Agramonte Loynaz de Cuba y la revista cubana de medicina tropical (RCMT). Concluyendo puntualmente el hallazgo del virus en el alcantarillado, aun cuando la prevalencia de la COVID-19 haya sido baja, indica que la epidemiología basada en aguas residuales pudiera ser una herramienta para el monitoreo de la circulación del virus en la población. Por

ende, se propone un procedimiento metodológico con bases científicas para su detección e identificación respectiva, proponiendo una serie de fases puntuales desde la elaboración de un documento base hasta la ejecución de la investigación.

## Palabras clave

Genoma, SARS-CoV2, aguas residuales, detección y eliminación.

## Abstract

The present work proposes a methodology for the detection and elimination of the SARS-CoV2 genome in the wastewater of the city of Tarija, considering that these mentioned waters constitute a conducive pathway for the transmission of many pathologies, including viral diseases.

The main purpose of the study is to investigate the detection of the SARS-CoV2 genome in the wastewater of the city of Tarija, its prevalence, the evidence of transmission and its potential epidemiological surveillance in different settings.

This document includes a bibliographic-documentary compilation of articles and contributions from information sources of the CSIC (Higher Council for Scientific Research of Spain), as well as contributions from Iagua and Imdea Agua, both institutions have interventions and participations from the Uni

versities of Alcalá and Rey Juan Carlos, as well as studies developed by researchers from the Ignacio Agramonte Loynaz University of Cuba and the Cuban Journal of Tropical Medicine (RCMT). Concluding promptly the finding of the virus in the sewers, even when the prevalence of COVID-19 has been low, indicates that epidemiology based on wastewater could be a tool for monitoring the circulation of the virus in the population. Therefore, a methodological procedure with scientific bases is proposed for its respective detection and identification, proposing a series of specific phases from the preparation of the document to the execution of the investigation.

**Key words** Genome, SARS-CoV2, sewage water, detection and disposal.

## 1. Introducción

Tal como lo menciona la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2020), el SARS-CoV2 o la COVID-19, es el nombre del nuevo coronavirus, el cual tras circunstancias de definición fue denominado 2019-nCoV y actualmente denominado SARS-CoV2, siendo “SARS-CoV2 el virus” y “COVID-19” el nombre de la enfermedad, la cual pertenece a la familia de coronavirus, los cuales son llamados de esa manera por la forma representativa de pico en la superficie envolvente del virus, los cuales por su forma se asemejan a una corona. Los coronavirus son una familia que conviven con los seres humanos desde hace mucho tiempo, así también estos mencionados coronavirus provienen de aves o mamíferos, especialmente de los murciélagos.

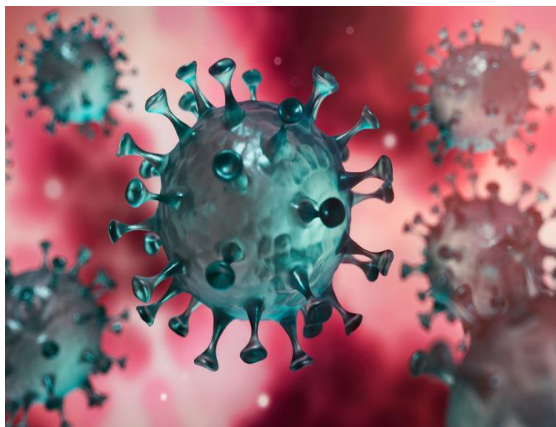


Figura 1. SARS-CoV2, forma aproximada del genoma; Fuente: OMS (Organización mundial de la salud).

La denominación de SARS-CoV2, se denomina así por su secuencia genética parecida a la del SARS (Centers for Disease Control and Prevention, 2020), el cual es otro tipo de coronavirus que se manifestó durante por primera y única vez en el año 2002 y causó una propagación con más de 8000 personas infectadas y alrededor de 800 muertos, ahora si bien se habla del SARS, también se debe mencionar el MERS-CoV, el cual se manifestó por primera vez el año 2012 en el lejano medio oriente, el cual está asociado con los camélidos, específicamente con los camellos. Hasta donde se sabe, este nuevo coronavirus se originó en un mercado de animales silvestres de la ciudad de Wuhan “China”, esto producido por el contacto directo o cercano entre animales con el ser humano, que al tratarse de especies exóticas, estas no conviven naturalmente cerca del ser humano, por tanto, este acercamiento propicio que el virus adquiera la capacidad de conseguir un nuevo huésped, en el caso del nuevo coronavirus, se tienen por supuesto que este saltó desde un murciélago a un mamífero intermediario y posteriormente a los seres humanos. (Guan Y. Zheng BJ, He YQ, Liu XL, Zhuang ZX, Cheung, 2003).

La complejidad de esta enfermedad se basa esencialmente en la forma de contagio, la cual es por vía aérea, mediante la generación de pequeñas gotas que produce una persona infectada al hablar, toser o estornudar son suficientes para producir un futuro contagio. Además de ello se ha demostrado que también se transmite por “fómites” al entrar en contacto con la nariz, ojos y boca con superficies contaminadas con presencia del virus.

Lo curioso e interesante de este tipo de enfermedad es que se ha demostrado mediante estudios de laboratorio que el SARS-CoV2, puede permanecer activo en algunas superficies por un tiempo determinado (The New England Journal of Medicine, 2020), en el caso de objetos de cobre este puede estar activo unas horas y en el caso de objetos plásticos y de acero hasta 24 horas, claro, esto en función a las condiciones de temperatura y humedad del ambiente.

A diferencia con el SARS, esta nueva enfermedad puede transmitirse antes de la aparición de algún tipo de síntoma, haciendo a la persona un

huésped asintomático, mientras que el SARS se transmite solo cuando la persona presenta síntomas, por tanto, esto dificulta de gran manera la contención de la pandemia en todo el mundo.

La OMS “Organización Mundial de la Salud”, estima una tasa de contagio ( $R_0$ ) del virus equivalentes al 1.4 a 2.5, mientras que otras estimaciones realizadas por entidades particulares hablan de un rango entre 2 y 3, en otras palabras es decir que cada huésped infectado puede contagiar a 2 y 3 personas, esta estimación es en caso de un contagio normal, pero tal como se ha visto recientemente se habla de supercontagios, esto debido a la aglomeración de personas que carecen o no aplican medidas de prevención ante el virus.

Sin embargo, la OMS también señala que, si bien la tasa de mortalidad es baja, la tasa de contagio es alta, haciendo blanco de contagio a las personas vulnerables o con antecedentes médicos de alguna patología previa, sean están cardiacas, sanguíneas, etc.

La situación problemática relacionada a esta enfermedad, es su forma de contagio, ahora haciendo referencia a estas características, se debe entender que según los últimos avances de investigación apuntan, que el SARS-CoV2, tiene una adaptabilidad a los medios físicos y acuáticos, y en este caso específico a las aguas residuales de los centros urbanos.

En el caso concreto de la ciudad de Tarija, se deben mencionar ciertos aspectos que dan sustento a la siguiente situación problemática.

- ⊙ En primera instancia se sabe que la ciudad de Tarija recientemente cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual es muy cuestionada por su diseño y ubicación, además de supuestamente no realizar un tratamiento óptimo (periódico, 2021).
- ⊙ Más allá de lo mencionado, se sabe que los índices de contagio son cada vez mayores, en el caso específico de

nuestro país, estos índices son crecientes con el paso de los días, esto conlleva a tener siempre presentes aguas servidas con heces fecales y residuos biológicos de pacientes enfermos con este patógeno.

- ⊙ Por otra parte, se sabe que todas estas aguas son vertidas a la planta de tratamiento, como también muchas de estas aguas desembocan de forma directa a algunas quebradas que atraviesan la ciudad de Tarija, haciendo de estas zonas, posibles focos infecciosos de este patógeno.
- ⊙ Las plantas de tratamiento convencionales no cuentan con nuevas metodologías de eliminación o reducción de agentes patógenos como el SARS-CoV2.

El objetivo que busca la presente investigación es: “Describir metodologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tarija para la detección y eliminación del genoma SARS-CoV2”.

El control de las concentraciones de SARS-CoV2 en las aguas residuales, se utiliza como indicador de la evolución de la pandemia, permitiendo analizar de forma indirecta los efectos de las medidas de cara a la desescalada en su caso. Por ello muchas fuentes de información fiables vienen sus aportes periódicamente, de los cuales se pueden rescatar los aportes del IAGUA e IMDEA AGUA, perteneciente a la Universidad de Alcalá y con participación especial de la Universidad Rey Juan Carlos, mediante su Máster en hidrología y gestión de los recursos hídricos, como también la Revista Cubana de Medicina Tropical, quienes para criterio del autor del presente trabajo son excelentes fuentes de investigación y sustento académico referencial. En el caso de IMDEA AGUA y el IAGUA se pueden rescatar los siguientes aportes, los cuales son una serie de publicaciones que se vienen dando desde la pasada gestión 2019 hasta el presente mes y año.

Las publicaciones son las siguientes<sup>1</sup>:

- ⊙ Gestores del agua apuestan por decisiones urgentes para apuntalar la recuperación posCOVID.
- ⊙ Publicados los resultados de los análisis de aguas residuales para el seguimiento de la COVID-19.
- ⊙ Una encuesta revela el impacto de Covid-19 en la cadena de suministro de agua.
- ⊙ El análisis de las bacterias de aguas residuales ayuda a predecir la propagación del coronavirus.
- ⊙ URA licita nuevamente los servicios de análisis del SARS-CoV-2 en las aguas residuales urbanas.
- ⊙ Burlington VT implementa la epidemiología basada en las aguas residuales para frenar el COVID-19.
- ⊙ Castilla y León extenderán los análisis de aguas fecales a institutos y universidades.

En el caso de la Revista Cubana de Medicina Tropical, se puede mencionar lo siguiente:

- ⊙ COVID-19 y aguas residuales. Barreto Torrella, S. I. (2020).

### 1.1. Las heces humanas y la orina como fuente de infección.

Se plantea que las heces fecales pueden constituir una fuente de infección<sup>2</sup>, por el hallazgo de virus viables en heces de varios pacientes; también porque se cree que el SARSCoV-2 tenga una baja dosis infecciosa, de modo que por más que sean

1 Publicaciones cronológicas del IAGUA sobre el COVID19: <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/directo-ultima-hora-coronavirus-sector-agua>.

2 Wu D, Wu T, Liu Q, Yang Z. The SARS-CoV-2 outbreak: What we know. IJID [Preprint]. 2020 [acceso: 10/06/2020];94:44-8. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1201971220301235> ; <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.004>

bajas cargas virales en las heces podrían ser una preocupación para la transmisibilidad. Los autores agregan, a favor de la transmisión fecal-oral, la presencia de receptores de la enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) en el tracto intestinal, en células de la cavidad oral y el esófago. Dicha enzima se ha identificado como el receptor del huésped que interactúa con la proteína de las espículas para propiciar el tránsito intracelular del SARS-CoV2<sup>3</sup>. Aspecto pendiente de corroboración mediante métodos científicos.

También se ha teorizado en cuanto a su transmisión de forma fecal-vías respiratorias, por inhalación de partículas de heces con presencia de virus viables, en forma de gotas de aerosol<sup>4</sup>, lo cual también constituye una especulación a partir del hallazgo en heces fecales de pacientes enfermos con COVID-19 que no se debe pasar por alto, pero requerirá su futura confirmación mediante diseños experimentales adecuados. También se ha encontrado al SARS-CoV-2 en la orina de pacientes enfermos de COVID-19.<sup>5</sup>

### 1.2. Presencia del SARS-COV-2 en aguas residuales.

El SARS-CoV-2 ha sido detectado en diferentes países, siendo el primero Holanda<sup>6</sup>. También ha sido hallado en Australia<sup>7</sup>, Estados Unidos,

3 Amirian ES. Potential fecal transmission of SARS-CoV-2: Current evidence and implications for public health. IJID. [Serie en internet] 2020 [acceso: 10/06/2020];(95):363- 70. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.057>

4 Wang X, Zhou Y, Jiang N, Zhou Q, Ma W-L. Persistence of intestinal SARS-CoV-2 infection in patients with COVID-19 leads to re-admission after pneumonia resolved. IJID [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020];95:433-5. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1201971220302794>

5 Xiao F, Sun J, Xu Y, Li F, Huang X, Li H, et al. Infectious SARS-CoV-2 in feces of patient with severe COVID-19. Emerg Infect Dis [Serie en internet]. 2020 Ag [acceso: 10/06/2020]; 26(8). Disponible en: [https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-0681\\_article](https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-0681_article)

6 Medema G, Heijnen L, Elsinga G, Italiaander R, Brouwer A. Presence of SARSCoronavirus-2 in sewage. MedRxiv. [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020]. Disponible en: <http://medrxiv.org/content/early/2020/03/30/2020.03.29.20045880>

7 Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in un-

Francia e Italia<sup>8</sup> en aguas residuales crudas (sin tratar) provenientes tanto de áreas de alta circulación como de baja circulación del virus. Con el auxilio de técnicas moleculares se ha detectado en aguas crudas una concentración de hasta 106 copias por litro. Mientras que en aguas residuales tratadas la cifra ha sido de 105 copias por litro<sup>9</sup>.

### 1.3. El SARS-CoV2 en las masas de aguas superficiales y aguas residuales.

Tal como se mencionó con anterioridad el SARS es un tipo de coronavirus muy parecido en cuanto al genoma del SARS-CoV2, el cual, mediante experimentación, análisis y estudio desarrollado por el Departamento de ciencias del suelo agua y medio ambiente de la Universidad de Arizona de USA (Gundy, 2008), ha demostrado gran capacidad de adaptarse a los medios acuáticos tal como lo refleja en su resumen de investigación:

El advenimiento del síndrome respiratorio agudo severo y su posible transmisión ambiental indica la necesidad de más información sobre la supervivencia del coronavirus en el agua y las aguas residuales.

La supervivencia de los coronavirus representativos, el virus de la peritonitis infecciosa felina y el coronavirus humano 229E, se determinó en agua del grifo filtrada y sin filtrar (4 y 23 ° C) y aguas residuales (23 ° C). Esto se comparó con el poliovirus 1 en las mismas condiciones de prueba.

La inactivación de coronavirus en el agua de prue-

ba dependió en gran medida de la temperatura, el nivel de materia orgánica y la presencia de bacterias antagonistas. El tiempo necesario para que el título del virus disminuya en un 99,9% (T 99,9) muestra que, en el agua del grifo, los coronavirus se inactivan más rápidamente en agua a 23 ° C (10 días) que en agua a 4 ° C (> 100 días). Los coronavirus mueren rápidamente en las aguas residuales, con valores de T 99,9 de entre 2 y 4 días. El poliovirus sobrevivió más tiempo que los coronavirus en todas las aguas de prueba, excepto el agua del grifo a 4 ° C.”

A su vez el Gobierno Español mediante su consejo superior de investigaciones científicas, CSIC, establece su “Informe sobre transmisión del SARS-CoV2 en playas y piscinas” (CSIC, 2020), donde detalla aspectos muy importantes tales como:

- ⊙ “La principal vía de transmisión del SARS-CoV-2 en playas, ríos, lagos y piscinas es a través de secreciones respiratorias que se generan con la tos y los estornudos y el contacto de persona a persona, por lo que deben mantenerse las recomendaciones generales relativas a cualquier otro lugar, como por ejemplo las recomendaciones recogidas en el protocolo y guía de buenas prácticas dirigidas a la actividad comercial en establecimiento físico y no sedentario publicadas por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
- ⊙ En actividades recreativas, la infección por SARS-CoV-2 por contacto con el agua de condiciones estándar para el baño, es muy poco probable. Sin embargo, estas actividades generalmente implican una pérdida de las medidas recomendadas de distanciamiento social.
- ⊙ La supervivencia del SARS-CoV-2 en agua de ríos, lagos, pozas aguas remansadas de agua dulce y no tratada puede ser superior a la que se produce en piscinas y en el agua salada, y por

---

treated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Tot Environ*. 2020 [acceso: 10/06/2020];728:138764.

Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246812532030087X> ; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>.

8 La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Bonadonna L, et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci.Total Environ* [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020];736:139652. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652>

9 Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, Carducci A, Gerba CP, Hamilton KA, et al. SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. *Sci Tot Environ* [Preprint].] 2020 STOTEN 139076 [acceso: 10/06/2020]:139076. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>

tanto deben extremarse las medidas de precaución para evitar aglomeraciones, siendo éstos los medios acuáticos más desaconsejables en relación con otras alternativas, especialmente las pequeñas pozas donde la dilución es menos efectiva”.

Ambas investigaciones hacen referencia a la necesidad de disponer de datos experimentales que permitan evidenciar la presencia de SARS-CoV2 en las masas de aguas superficiales y aguas residuales.

## 2. Materiales y Métodos

La metodología aplicada a la presente investigación es documental comparativo, la cual hace referencia a los distintos medios científicos de exposición de información documental, generado cuestiones de análisis tales como:

Cada día que pasa miles de científicos en el mundo tratan de conocer al SARS-CoV2, pero a la fecha no se ha logrado establecer un comportamiento estable del mismo, tanto en la salud como en los medios de transmisión del mismo, por tanto esto complica la situación en sí, ya que si bien los estudios indican la posible adaptación de este genoma a las masas de agua superficial, este se proyectaría como un posible foco de infección, siempre y cuando las concentraciones del mismo sean suficientes para producir un contagio.

Entrando a un contexto regional, se ha mal interpretado sobre la influencia de la temperatura en relación al contagio de SARS-CoV2, suponiendo que en regiones de nuestro departamento se contemplan elevadas temperaturas, las cuales imposibilitarían un posible contagio, pero obviamos un pequeño detalle, el cual es simple y muy sencillo de entender.

El cuerpo humano biológicamente mantiene una temperatura constante comprendida entre los 35.6 y 37.6 grados centígrados naturalmente (In-

fosalus, 2018). Por tanto, ya naturalmente nuestro cuerpo eliminaría en virus, en caso supuesto de considerar la influencia de la temperatura al momento de evitar un contagio.

### Descripción del ámbito de estudio

El ámbito de estudio será el municipio de Cercado - Ciudad de Tarija, donde se pretende establecer contacto directo con las entidades encargadas de proporcionar la información base para el desarrollo de la siguiente propuesta de investigación.

### Fuente de datos

Las fuentes de información primaria son las investigaciones de última generación expuestas por Universidades y centros de investigación de todo el mundo, rescatando los avances lineales sobre el coronavirus y su incidencia sobre las masas de agua residuales.

Se tomarán como fuentes primarias las publicaciones y artículos.

Las fuentes de información secundaria serán documentos transversales que serán compilados en bitácoras bibliográficas, contemplando si el caso lo amerita, colección de informes periodísticos de información y estudios gubernamentales sobre los avances relacionado con la lucha de la humanidad contra esta pandemia.

## 2.1. Fases de la propuesta

### 2.1.1. Primera fase – presentación del proyecto

Esta fase comprende la redacción y elaboración de documentos correspondientes al proyecto, contemplando el análisis temporal y espacial de cada uno de sus elementos.

### 2.1.2. Segunda fase – aprobación del proyecto

Esta fase establece la aprobación del proyecto y su adecuación legal para su ejecución, en este punto se deben establecer claramente los montos y presupuestos para la ejecución del estudio planteado.

Así también se deberá establecer las responsabilidades y licitación de cargos mediante exa-

men de competencias, avalado y evaluado por la comisión interinstitucional conformada por los entes participantes.

### 2.1.3. Tercera fase – desarrollo de la investigación

En esta etapa se plantea la ejecución de protocolos y planes de acción para la determinación del genoma SARS-CoV2 o la COVID-19 y su incidencia en las aguas residuales de la ciudad de Tarija.

Esta tomará como base fundamental la ubicación estratégica de los puntos de muestreo, los cuales tendrán un cronograma de actividades comprendidas desde los primeros días del mes de noviembre del año 2021.

Posterior a la toma de muestras estas serán enviadas a laboratorios competentes establecidos en la ciudad de La Paz o la ciudad de Santa Cruz, donde se establecerán procedimientos técnicos de laboratorio capaces de demostrar la existencia o no del genoma en cada una de las muestras realizadas.

Tras la evaluación de las muestras, se compilarán los resultados y se realizará la interpretación y redacción de informes de respaldo que den fe del seguimiento de cada una de las muestras.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Metodología empleada para la detección del SARS-CoV2 en aguas residuales.

El SARS-CoV-2 es un virus recubierto por una envoltura lipídica<sup>10</sup>, en la envoltura vírica se encuentran al menos tres estructuras proteicas: proteína M de membrana, proteína E cuya función principal es el ensamblaje viral, y la glicoproteína S en las espículas<sup>11</sup>. Actualmente el diagnósti-

co clínico del virus SARS-CoV-2 se realiza con técnicas de RTPCR (Reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa) en tiempo real. Se recomienda hacerlo de forma secuencial.

En primer lugar, se utiliza una técnica de cribado para uno de los dos genes: el E o el N al nuevo coronavirus si resulta positiva se realiza una nueva RT-PCR de confirmación, frente a un fragmento genómico específico del COVID19, como es el gen RdRp (de la RNA polimerasa RNA-dependiente<sup>12</sup> A favor de la técnica RT-PCR se señalan el buen desempeño analítico, los bajos límites de detección, el amplio rango lineal de cuantificación y la excelente precisión. A estas ventajas se unen la rapidez, amplia variedad de plataformas de amplificación y mínimo riesgo de contaminación<sup>13</sup>.

No existe hasta el momento un método estandarizado para la determinación del SARS-CoV2 en aguas residuales<sup>14</sup>, pese a su confirmación en las mismas, como se expresó antes. En la figura 2 se propone el procedimiento conceptual que se ha seguido. Primero se concentra el virus, para incrementar la sensibilidad de su detección en dicho medio<sup>15</sup>, realizando una separación de fa-

---

nible en: [https://analesranm.es/wpcontent/uploads/2019/numero\\_136\\_03/pdfs/ar136-rev01.pdf](https://analesranm.es/wpcontent/uploads/2019/numero_136_03/pdfs/ar136-rev01.pdf)

12 Organización Panamericana de la Salud (OPS). Directrices de laboratorio para la detección y diagnóstico de la infección con el nuevo coronavirus 2019 (2019-nCoV). 2020 [acceso: 10/06/2020]. Disponible en: <http://www.paho.org>

13 Rodríguez L, Montalvo MC, Sariego S, Bello M, Mora E, Kourí V, et al. Reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real para la cuantificación del ADN del virus de la hepatitis B. *Rev Cubana Med Trop [Serie en internet]*. 2012 [acceso: 10/06/2020];64:290-303. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0375-07602012000300009&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602012000300009&nrm=iso)

14 La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Bonadonna L, et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci.Total Environ [Serie en internet]*. 2020 [acceso: 10/06/2020];736:139652. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652>

15 Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Tot Environ*. 2020 [acceso: 10/06/2020];728:138764.

Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246812532030087X>; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>.

10 INFOMED. La Habana, Cuba. Los colutorios podrían ser útiles frente al SARS-CoV2020. *Al Día. Noticias de Salud*. [acceso: 06/03/2020]. Disponible en: <http://www.sld.cu>

11 Moroto MC, Piédola G. Los coronavirus. *Anales RANM. Año 2019*. 2020 [acceso: 03/06/2020]; 136(03):235-8. Dispo-



ses, por diferentes métodos: la extracción directa del ARN mediante membranas electronegativas, la ultrafiltración, el método de polietilenglicol (PEG 8000)<sup>16</sup> el PEG/dextrana<sup>17</sup>. Se afirma que es limitada la información científica disponible para la recuperación de virus recubiertos con los métodos de concentración existentes, con particular énfasis en el SARS-CoV-2, por lo que habrá que evaluar las eficiencias de recuperación para determinar cuáles son más efectivas<sup>18</sup>.

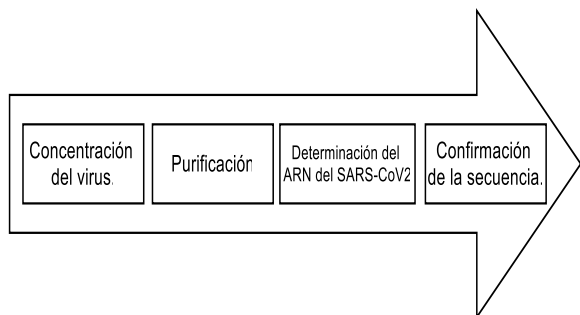


Figura 2. Esquema del proceso de determinación del Covid 19 en aguas residuales. Fuente: Revista cubana de medicina tropical (Cuba).

El método diseñado para establecer la concentración del virus PEG/dextrana en dos fases fue adaptado del procedimiento de la OMS para la vigilancia de Poliovirus. Las modificaciones fueron realizadas para adaptar el protocolo para virus con envoltura<sup>19</sup>. Luego de extraer el ARN viral,

se realiza la purificación de los ácidos nucleicos para evitar la inhibición. Posteriormente se lleva a cabo la detección del ARN del SARS-CoV-2, la cual ha sido realizada mediante secuenciación directa de productos qPCR o re-amplificación con PCR regular seguida de secuenciación<sup>20</sup>, mediante pruebas RT-PCR anidados, el adaptado para SARS-CoV-2 para la proteína de las espículas (el SARS-CoV-2Spike), el ensayo de alto rango CoV ORF1ab.

El nuevo método de ensayo, diseñado específicamente para este virus, que consiste en un PCR modificada (SARS-CoV-2ORF1ab). También se ha empleado el ensayo RT-qPCR (retro transcriptase quantitative PCR) en tiempo real, dirigido al gen RdRP, descrito por Corman y citado por La Rosa y otros. El nuevo ensayo diseñado (SARS-CoV-2ORF1ab) mostró una sensibilidad superior en el gen RdRp, con relación al dirigido al gen de las espículas (SARS-CoV-2 Spike).

En esta etapa se plantea la descripción de los resultados obtenidos durante la investigación con la finalidad de justificar la implementación de nuevas tecnologías previas y durante el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Tarija. Tras el conocimiento e interpretación de todos los resultados, el equipo realizará un manual general de aplicación dirigido a los cuidados y protocolos de aplicación correspondientes a la reducción y/o control del genoma SARS-CoV2 o la COVID-19 en las aguas residuales del departamento de Tarija. Así también se realizarán recomendaciones puntuales a la planta depuradora de la ciudad. Esto con la finalidad de considerar el tratamiento de las aguas residuales que contengan carga del SARS-CoV2 o la COVID-19. Se propone realizar el siguiente proceso secuencial para el seguimiento a la reducción del genoma SARS-CoV2.

- ⊙ Generar un registro histórico de la evolución cualitativa de la concentración de virus SARS-CoV-2 desde la

16 Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Tot Environ*. 2020 [acceso: 10/06/2020];728:138764. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246812532030087X>; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>

17 La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Bonadonna L, et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci.Total Environ* [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020];736:139652. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652>

18 Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, Carducci A, Gerba CP, Hamilton KA, et al. SARSCoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. *Sci Tot Environ* [Preprint.] 2020 STOTEN 139076 [acceso: 10/06/2020]:139076. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>

19 La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Bonadonna L, et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci.Total Environ* [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020];736:139652. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652>

20 Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, Carducci A, Gerba CP, Hamilton KA, et al. SARSCoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. *Sci Tot Environ* [Preprint.] 2020 STOTEN 139076 [acceso: 10/06/2020]:139076. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>

primera semana de muestreo.

- ⊙ Establecer los resultados referentes a la evolución semanal de SARS-CoV-2 en la EDAR.
- ⊙ Realizar un diagrama de los niveles detectados en la entrada de la EDAR cada semana y su dispersión respectiva.
- ⊙ Realizar un diagrama de los niveles detectados en la salida de la EDAR cada semana y su supervisión respectiva.
- ⊙ Proponer la elaboración de un SIG con la información base de las zonas altamente vulnerables a ser zonas de alto contagio, entre estos hospitales, centros de salud y centro de terapia intensiva por COVID19.
- ⊙ Informe técnico con las limitaciones de los métodos analíticos y ayuda a la interpretación de los resultados obtenidos.

### 3.2. Vigilancia epidemiológica de la Covid-19 mediante la detección del virus en aguas residuales para su reducción.

La presencia de individuos en la población, no identificados como positivos al virus, por estar asintomáticos o presintomáticos, constituye una fuente de infección para la comunidad.

Esto hace difícil la detección de su circulación en éstas, pues escapan de la vigilancia sanitaria<sup>21</sup>, por lo que se precisa el diseño de estrategias para la detección y vigilancia de los casos asintomáticos o presintomáticos. Una opción podría ser la vigilancia epidemiológica basada en aguas residuales.

21 Rodríguez-Labrada R, Vazquez-Mojena Y, Velázquez-Pérez L. Transmisión asintomática y presintomática del SARS-CoV-2: la cara oculta de la COVID-19. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 2020 [acceso: 10/06/2020];10(2: especial COVID-19). Disponible en: <http://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/770/807>

Se estudia la factibilidad de sistemas de vigilancia de la prevalencia de la COVID-19 en poblaciones usando la epidemiología basada en aguas residuales<sup>22</sup>. El hallazgo del virus en el alcantarillado, aun cuando la prevalencia de la COVID-19 haya sido baja, indica que la epidemiología basada en aguas residuales pudiera ser una herramienta para el monitoreo de la circulación del virus en la población<sup>23</sup>, como se mostró ya con el poliovirus y la hepatitis A.

Sin embargo, aún no se ha probado la transmisión del SARS-CoV-2 a partir de aguas residuales, porque es limitado aun el conocimiento científico acerca del rol de las mismas en la transmisión de la enfermedad, debido a incertidumbres en cuanto a: conocimiento en su ocurrencia, persistencia y eliminación en aguas residuales. La implementación de un sistema de vigilancia epidemiológica basado en aguas residuales ayudaría a la identificación de individuos infectados en poblados, ciudades y en áreas específicas de drenaje.

A nivel nacional e internacional ayudaría a comprender mejor la dinámica temporal y espacial de la prevalencia de enfermedades, la epidemiología molecular y la evolución del virus, así como la eficacia de las intervenciones de salud pública. Son numerosas las enfermedades que pueden transmitirse a través del agua, mediante diferentes organismos patógenos (helmintos, protozoos, bacterias y virus).

En las provocadas por virus destacan: las hepatitis A y E, la gastroenteritis, la meningitis, infecciones respiratorias (adenovirus)<sup>24</sup>. La calidad sa-

22 Hart OE, Halden RU. Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: Feasibility, economy, opportunities, and challenges. *Sci Tot Environ* [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020];730(138875). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138875>

23 Medema G, Heijnen L, Elsinga G, Italiaander R, Brouwer A. Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. *MedRxiv*. [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020]. Disponible en: <http://medrxiv.org/content/early/2020/03/30/2020.03.29.20045880>

24 González MI, Chiroles S. Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura *Rev Cubana Salud Pública*. [Serie en internet]. 2010 [acceso: 10/06/2020];37(1):61-73. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/>

nitaria del agua se establece acorde a la presencia de coliformes termotolerantes y *E. coli*, en base a los valores máximos admisibles, tanto para agua potable<sup>25</sup> como para aguas residuales<sup>26</sup>. En las últimas se regulan dichos valores según la clasificación cualitativa de los receptores.

Los coliformes termotolerantes y *E. coli* han sido seleccionados como indicador sanitario de microorganismos del agua porque se liberan continuamente y en gran cantidad al medio ambiente, provenientes de los intestinos humanos y animales, mantienen su vitalidad en el medio externo durante mayor período de tiempo que los microorganismos patógenos, son más resistentes al cloro que los causantes de una gran mayoría de infecciones.

La presencia de coliformes en agua indica su contaminación fecal, y la cantidad presente de estos permite juzgar acerca del grado de contaminación; sería contraproducente la determinación cuantitativa directa de los causantes de todas las infecciones debido a la diversidad de estos y a los trabajosos análisis<sup>27</sup>.

No obstante, se asegura que se pueden usar también indicadores virales de contaminación, uno que mantenga niveles constantes en aguas residuales pudiera servir como representante para el tamaño de población cuando se emplea la epidemiología basada en aguas residuales para estimar la proporción de población infectada durante un brote epidémico o pandémico, lo cual está sujeto a futuras investigaciones, no obstante, se señalan a los mastadenovirus humanos como candidatos por su fácil detección, culturabilidad y alta prevalencia en aguas residuales y en medios contaminados<sup>28</sup>.

El empleo de herramientas computacionales y la modelación pueden contribuir a la vigilancia epidemiológica del virus en aguas residuales, a diferentes escalas espaciales, sin reemplazar los análisis clínicos, constituyendo una vía más rápida, menos costosa y potencialmente robusta para el seguimiento del SARS-CoV-2. Hart y Halden usaron para ello distintas ecuaciones y programas existentes, algunos empleados anteriormente con otros objetivos y adaptados según los datos publicados disponibles, aunque tuvieron que asumir valores tales como: la persistencia del virus durante su desplazamiento por las tuberías, la cantidad de genes detectados mediante análisis molecular por litros de aguas residuales, entre otros. Para el análisis de costo solamente consideraron los referentes a los reactivos utilizados por ensayo<sup>29</sup>.

El uso de simulaciones de Monte Carlo permitió determinar el número de individuos infectados en una cuenca. Los resultados obtenidos se correspondieron de modo razonable con las observaciones clínicas<sup>30</sup>. El simulador EPANET tiene potencial para ser usado para evaluar la calidad del agua potable que se distribuye, considerando focos de potenciales contaminantes.

El programa tiene la posibilidad de incorporar mapas con sistemas de distribución de agua. Pueden variarse características del agua, la temperatura, por ejemplo. También se puede variar la composición de determinado contaminante. Ha-

---

vironment. Water Res. [Serie en internet] 2020 [acceso: 10/06/2020];181:115926. Disponible en: <https://10.1016/j.watres.2020.115926>

29 Lodder W, de Roda Husman AM. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source. Lancet Gastroenterol Hepatol [Serie en internet]. 2020 [acceso: 10/06/2020];5(6):533-4. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30087-X](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30087-X)

30 Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. Sci Tot Environ. 2020 [acceso: 10/06/2020];728:138764. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246812532030087X> ; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>.

---

sciELO.php?script=sci\_arttext&pid=S0864-34662011000100007

25 Norma Boliviana 512 (2004). Agua potable-Requisitos, Estado plurinacional de Bolivia. p. 15.

26 Norma Boliviana 689 (2004). Instalaciones sanitarias – alcantarillado pluvial, sanitario y tratamiento de aguas residuales. p. 12..

27 Kariújina TA, Gurbanova IN. Química del agua y microbiología. Moscú, URSS: Stroyizdat; 1995.

28 Farkas K, Walker DI, Adriaenssens EM, McDonald JE, Hillary LS, Malham SK, et al. Viral indicators for tracking domestic wastewater contamination in the aquatic en-

bría que introducir datos específicos del SARS-CoV-2. También puede usarse Matlab combinado con AutoCAD y/o con sistemas de información geográficos.

Personal	Salario	Meses	Total
Director/responsable del proyecto	7000	6	42000
Especialista laboratorista.	5500	6	33000
Técnico especialista en toma de muestras	5500	6	33000
Técnico biólogo y recursos hídricos	5500	6	33000
Técnico de apoyo - chófer	3000	6	18000
Total, salarios del proyecto (Bs)			159000

Tabla 1. Estimación de recursos económicos para el personal. Fuente: Elaboración propia.

Personal	Monto	Meses	Total
Kit portátil de análisis	5000	1	5000
Análisis de laboratorio	2500	6	15000
Reactivos	3500	6	21000
Equipo d bioseguridad	12500	2	25000
Equipos de oficina	60000	1	60000
Material de escritorio	25000	2	50000
Total, materiales necesarios (Bs)			221000

Tabla 2. Estimación de recursos económicos para ensayos y material de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Personal	Monto	Meses	Total
Limpieza y mantenimiento de oficina	800	4	3200
Mantenimiento de vehículo	700	4	2800
Total, monte necesarios (Bs)			6000

Tabla 3. Estimación de recursos económicos para limpieza y mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.1. Recursos financieros necesarios.

Los recursos necesarios para desarrollar la investigación son los siguientes:

Ascendiendo a un monto total de proyecto de: 386000 bolivianos, (trescientos ochenta y seis mil con 00/100 bolivianos), equivalentes a 55,380.20 dólares americanos.

#### 3.2.1.1. Cronograma de actividades

Fases de la Investigación	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Primer Fase – Presentación de la investigación.						
Segunda Fase – Aprobación de la investigación						
Tercera Fase – Ejecución de la investigación						
Cuarta Fase – Descripción de los resultados y metodologías de aplicación.						

Figura 3. Cronograma del desarrollo de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

Podemos concluir los siguientes criterios.

### 4.1. Conclusiones:

- ⊙ La comparación de estas fuentes bibliográficas nos hace entender que nuestro país aún está lejos de implementar este tipo de medidas preventivas ante la propagación de este virus, ya que poco y nada se hace respecto a este tema, el poco interés está orientado tanto al gobierno nacional, universidades estatales y entidades privadas.
- ⊙ Según revisión bibliográfica, se ha identificado que el SARS-CoV2 ha sido detectado en heces fecales e hisopados rectales de pacientes activos y fallecidos por esta enfermedad y que la vida de transmisión principal es la vía fecal-oral.
- ⊙ El método propuesto para identificación del genoma en las aguas residuales, es un método adecuado no así estandarizado.
- ⊙ Los futuros estudios deben valorar la efectividad de las operaciones y procesos de tratamiento de agua en la eliminación de este virus.
- ⊙ Si bien se habla de la identificación de este genoma, se requiere hacer estudios de infectividad y de prevalencia del virus en aguas residuales, receptores de éstas y aguas tratadas.
- ⊙ Es muy importante señalar que la epidemiología basada en aguas residuales pudiera ser una herramienta para el monitoreo de la presencia y circulación del virus en la población.

### 4.2. Recomendación:

- ⊙ Recomendamos profundizar los estudios respecto a la adaptación del genoma SARS-CoV2 en las masas de aguas superficiales, en especial en las aguas servidas por ser objeto de estudio de la presente investigación.
- ⊙ Es necesario mencionar que se deben profundizar estudios en los cuerpos receptores de las aguas tratadas en la EDAR de la ciudad de Tarija, esto con la visión de identificar la presencia o ausencia del genoma en estudio.
- ⊙ Se insta a las instituciones públicas y privadas invertir en este tipo de estudios, ya que es de mucha importancia y de bien común detener/eliminar o frenar de buena manera la longevidad temporal de esta pandemia que está cobrando muchas vidas.

## 5. Bibliografía

- 📖 Centers for Disease Control and Prevention, C. (2020). Hoja informativa sobre el síndrome agudo severo respiratorio: Información sobre el SARS. <http://www.cdc.gov/ncidod/sars/factsheet.htm>.
- 📖 CSIC, M. d. (2020). INFORME SOBRE TRANSMISIÓN DEL SARS-CoV-2 EN PLAYAS Y PISCINAS. [https://www.csic.es/sites/default/files/informe\\_plasyypiscinas\\_csic.pdf](https://www.csic.es/sites/default/files/informe_plasyypiscinas_csic.pdf), 17.
- 📖 Guan Y.Zheng BJ, He YQ, Liu XL, Zhuang ZX, Cheung. (2003). Aislamiento y caracterización de virus relacionados con el coronavirus del SARS de animales en el sur de China. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12958366/>.

- 🔖 Gundy, P. G. (2008). Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. Departamento de Ciencias del Suelo, Agua y Medio Ambiente, Universidad de Arizona, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7091381/#CR5>.
- 🔖 Infosalus. (2018). ¿Cuál es la temperatura corporal normal? <https://www.infosalus.com/asistencia/noticia-cual-temperatura-corporal-normal-20150629093910.html>.
- 🔖 ONU, O. d. (2010). Mar Aral. Noticias ONU, 1.
- 🔖 Organización Mundial de la Salud, O. (2020). Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19). <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>.
- 🔖 periódico, E. (2 de marzo de 2021). Sociedad de Ingenieros cuestiona el estudio de AETOS para la PTAR de San Luis. El periódico, pág. 1.
- 🔖 The New England Journal of Medicine, T. (17 de Marzo de 2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. The New England Journal of Medicine Medicine, pág. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc2004973>.
- 🔖 Barreto Torrella, S. I. (2020). COVID-19 y aguas residuales. Revista Cubana de Medicina Tropical, 72(3).